

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 1961 — N° 51

ÉTUDE SUR LES RELATIONS ENTRE LA RADIOACTIVITÉ DES POUDRES DE LAIT ET LEUR TENEUR EN POTASSIUM

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 30 Novembre 1961

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

PAR

Claude MILHAUD

Né le 5 Mai 1937, à CASABLANCA (Maroc)

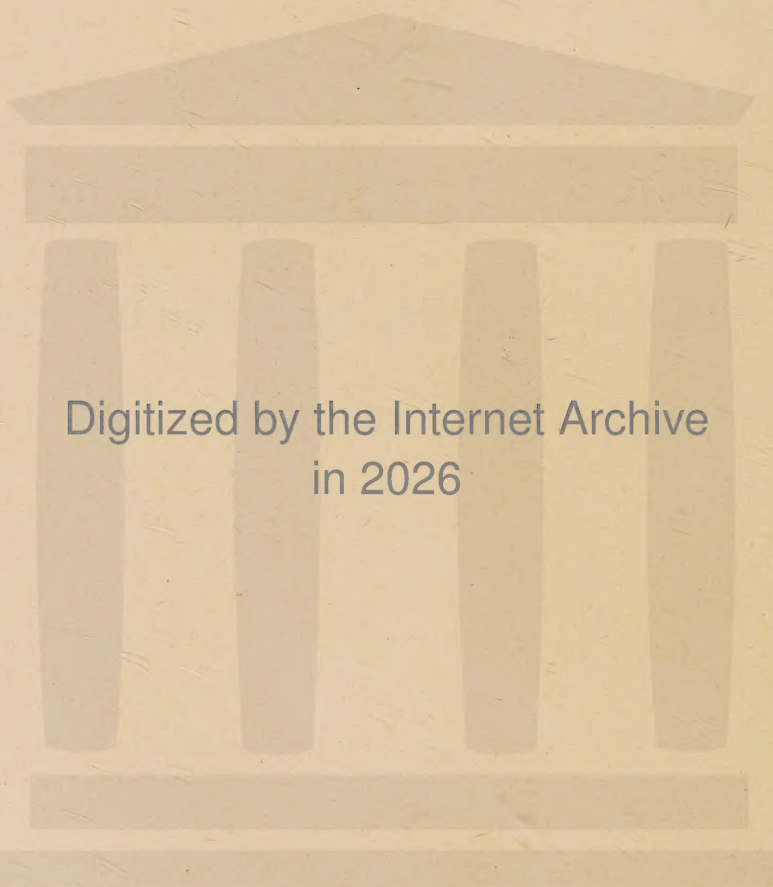


LYON

Imprimerie Maurice FABRE
14, Rue de la Favorite

1961

Étude sur les relations entre
la radioactivité des poudres de lait
et leur teneur en potassium



Digitized by the Internet Archive
in 2026

ÉTUDE SUR LES RELATIONS ENTRE LA RADIOACTIVITÉ DES POUDRES DE LAIT ET LEUR TENEUR EN POTASSIUM

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 30 Novembre 1961

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

PAR

Claude MILHAUD

Né le 5 Mai 1937, à CASABLANCA (Maroc)



LYON

Imprimerie Maurice J. FABRE
14, Rue de la Favorite

1961

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE LYON

Directeur	M. FLORIO
Directeur honoraire	M. JUNG
Professeur honoraire	M. CUNY

PROFESSEURS

Physique et Chimie biologiques, Pharmacie, Toxicologie, Hygiène et Inspection du lait	MM. TAPERNOUX
Anatomie descriptive, Anatomie appliquée	BARONE
Physiologie, Pharmacodynamie, Thérapeutique, Matière médicale	BOST
Histologie, Embryologie, Tétralogie, Anatomie pathologique, Inspection des aliments d'origine animale	LUCAM
Hygiène et Industrie des Aliments d'origine animale. . .	FLACHAT
Zoologie appliquée, Botanique appliquée, Parasitologie	EUZEBY
Technique chirurgicale, Pathologie chirurgicale	COLLET
Propédeutique, Sémiologie et Pathologie des Monogastriques, des Oiseaux et Ruminants, Législation vétérinaire	FLORIO
Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour	COTTEREAU
Pathologie de la reproduction, Obstétrique	BERTRAND
Pathologie générale et Microbiologie, Maladies légalement contagieuses et Police sanitaire	JOUBERT
Agronomie, Economie rurale, Zootechnie générale et génétique, Ethnologie, Hygiène, Alimentation	JEAN-BLAIN
Alimentation	FROGET

CHEFS DE TRAVAUX

MM. MAGAT, FERNEY, RUCKEBUSCH, Agrégés.
MM. BUSSIERAS, OUDAR.
Assistant : M. VAN HAVERBEKE.

EXAMINATEURS DE LA THESE

Président : M. le Professeur CHAMBON, de la Faculté de Médecine.
Premier Assesseur : M. le Professeur TAPERNOUX, de l'Ecole Vétérinaire.
Deuxième Assesseur : M. le Professeur FLACHAT, de l'Ecole Vétérinaire.

La Faculté de Médecine et l'Ecole Vétérinaire déclarent que les opinions émises dans les dissertations qui leur sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent leur donner ni approbation ni désapprobation.



A LA MEMOIRE DE MA MERE

A MA FEMME

A MONSIEUR LE PROFESSEUR CHAMBON

Qui nous a fait l'honneur
d'accepter la présidence de notre
jury de thèse.

Hommages respectueux.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR TAPERNOUX

Pour la bienveillance qu'il
nous a toujours témoignée.

Hommages respectueux.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR FLACHAT

Hommages reconnaissants.

A MONSIEUR L'AGRÉGÉ MAGAT

Qu'il trouve ici l'expression de
notre gratitude pour les conseils
dont il nous a fait bénéficier.

A TOUS NOS MAITRES

A NOS CHEFS

Étude sur les relations entre la radioactivité des poudres de lait et leur teneur en potassium.

INTRODUCTION

Les applications pratiques de la physique nucléaire ; qu'elles soient pacifiques : sources d'énergie, radiotraceurs, rayonnements thérapeutiques ; militaires : bombe atomique à fission, bombe thermonucléaire à fusion ; aboutissent à l'élévation de la radioactivité de la biosphère par addition à la radioactivité naturelle (rayonnements cosmiques, radioisotopes naturels) d'une radioactivité artificielle, dûe elle-même à la formation et l'accumulation de produits d'activité variable en intensité et en durée : les radio-éléments.

Du point de vue biologique, deux processus pathologiques sont à redouter : l'irradiation externe, massive, accidentelle, facilement décelable, et l'irradiation interne faible, prolongée et difficilement décelable. Dans ce dernier cas, l'activité des radioéléments est liée à deux de leurs caractéristiques :

leur période physique : les éléments de longue période sont par leur action plus prolongée les plus dangereux ;

leurs propriétés métaboliques : sont à craindre plus

particulièrement les éléments qui se fixent au niveau d'un ou plusieurs organes particuliers et dont la faible vitesse d'élimination entraîne une irradiation prolongée de l'individu.

Compte tenu de ces critères physiques et biologiques, il semble que les substances radioactives les plus redoutables soient : l'Iode 131 période 8 jours, se fixant au niveau de la thyroïde, le Strontium 90 période 19,9 ans, se fixant au niveau du squelette, le Cesium 137 période 33 ans, se fixant au niveau des muscles. Pour s'insérer dans le métabolisme de l'homme, ces éléments utilisent deux voies, soit la voie respiratoire, soit la voie digestive. L'individu se contaminant le plus souvent en ingérant, soit des aliments d'origine végétale ou animale, soit des eaux de boissons, contaminés.

Veiller à la salubrité des aliments d'origine animale est une mission traditionnelle du vétérinaire. Aussi les problèmes relatifs à la contamination radioactive des aliments d'origine animale doivent-ils intéresser le vétérinaire ; en particulier ceux relatifs à la contamination radioactive du lait.

Dans le cadre des études sur la contamination radioactive du lait, nous nous sommes attachés dans ce travail de thèse à étudier une méthode simple, utilisant un appareillage peu coûteux, permettant de déceler une éventuelle contamination des poudres de lait.

Dans ce but :

I. — Nous montrerons : l'importance des problèmes relatifs à la contamination radioactive du lait.

II. — Nous étudierons la radioactivité naturelle et artificielle du lait.

III. — Nous exposerons notre travail personnel.

IV. — Nous tirerons les conclusions de notre étude et de nos expériences.

Nous présentons nos remerciements à M. le Professeur TAPERNOUX qui nous a toujours réservé un excellent accueil dans son laboratoire et à M. l'Agrégé MAGAT qui, par son aide et ses conseils, a su nous faire partager l'intérêt qu'il porte à la radioactivité et à ses conséquences dans le domaine vétérinaire.

•

CHAPITRE I

IMPORTANCE DES PROBLEMES

RELATIFS A LA CONTAMINATION RADIOACTIVE DU LAIT

Deux groupes de facteurs déterminent l'importance de ces problèmes :

D'une part, le lait est un aliment de base, il constitue la source exclusive de calcium chez l'enfant, essentielle chez l'adulte. Et nous montrerons plus loin les rapports étroits liant le métabolisme du Strontium 90 et celui du calcium.

D'autre part, le lait est un élément « charnière » entre le sol et l'homme, il est l'aboutissement de la chaîne alimentaire : sol-végétaux-herbivore. Aussi, avec le contrôle de la radioactivité atmosphérique et celui des eaux de consommation, le contrôle du lait constitue l'un des trois éléments majeurs de la protection contre le danger que représente l'élévation de la radioactivité de la biosphère.

1) Importance du lait en tant qu'aliment.

A) Chez l'enfant :

L'abandon progressif de l'allaitement maternel donne au lait de vache une importance de plus en plus grande dans l'alimentation du nouveau-né et du nourrisson. Et, dans la majorité des cas, l'enfant de 1 à 3 mois est nourri exclusivement de lait de vache. Ce lait est utilisé sous forme de poudre de lait modifié : écrémé, demi-écrémé, sucré, etc.

La pollution du lait par les éléments radioactifs est dangereuse pour l'enfant, car :

— Le lait constituant l'aliment exclusif de l'enfant, même des taux de pollution peu élevés seront efficaces. En effet, le lait ne sera pas dilué dans une masse alimentaire, et, il n'y aura pas concurrence entre ses ions minéraux plus ou moins pollués et ceux des autres aliments. Les chances de fixation par l'organisme des radioéléments seront plus grandes.

Les risques sont d'autant plus élevés que l'individu est plus jeune, car le développement de l'enfant comprend :

a) L'augmentation des phénomènes métaboliques de fixation du calcium ; l'enfant en fixe :

170 mg/j jusqu'à la 5^e semaine ;

270 mg/j jusqu'au 5^e mois ;

110 mg/j jusqu'à 18 ans (52).

Le taux de fixation du calcium étant élevé, le risque de voir se fixer le Sr 90 augmente.

b) La multiplication intense des cellules qui deviennent de ce fait particulièrement sensibles aux rayonnements des particules radioactives.

B) Chez l'adulte :

Le lait est considéré comme un élément de base, riche en matières minérales, source essentielle de calcium et d'iode. Si son importance est moindre que chez l'enfant, il n'en demeure pas moins que dans les pays à forte consommation laitière : Scandinavie - U.S.A., 80 % du calcium est apporté par le lait. D'autant plus que, pour certains auteurs, le calcium du lait serait plus facilement assimilable que celui des autres aliments (19).

II) Importance du lait par sa place dans les cycles biologiques.

Le lait réalise, avec la viande et les végétaux comestibles, la liaison entre le sol et l'homme. On ne peut considérer le lait comme un fidèle reflet du sol, cependant pour certains éléments il y a une relation entre la présence de ces éléments dans le sol et leur concentration dans le lait. Nous montrerons que c'est le cas du Strontium 90, de l'Iode 131, du Césium 137.

Dans le cycle des radioéléments : atmosphère $\rightleftharpoons$

sol $\rightleftharpoons$ végétaux $\rightleftharpoons$ herbivore $\begin{matrix} \rightarrow \text{lait} \\ \rightarrow \text{viande} \end{matrix}$ $\rightleftharpoons$ homme,

les possibilités de concentration sont au niveau : du sol, des végétaux, du lait.

De ces trois niveaux de concentration, le plus intéressant à contrôler, pour la protection de la santé humaine et animale, est le lait. Ceci pour plusieurs raisons :

1° Le lait est un produit de métabolisme animal, seuls le contaminent les radioéléments susceptibles de s'insérer dans un métabolisme animal, c'est-à-dire les seuls qui présentent un danger d'irradiation interne pour l'homme.

2° Le lait est homogène et ne présente pas les variations de concentration en radioéléments que présentent les végétaux d'espèces différentes qui croissent sur un même sol pollué. Les vaches, en ingérant un grand volume d'herbe sur une zone étendue, réalisent un mélange végétal dont la concentration en radioéléments a une valeur moyenne.

3° Enfin, le lait se trouve à l'extrémité d'une succession de phénomènes d'absorption, de fixation, de digestion, etc., dont les paramètres sont mal connus en ce qui concerne les radioéléments. Aussi, produit d'une chaîne alimentaire, il en constitue le meilleur élément de contrôle (12).

CHAPITRE II

1) RADIOACTIVITE NATURELLE DU LAIT

Les premiers contrôles de la radioactivité du lait, pratiqués après les explosions de Nagasaki et Hiroshima, mirent en évidence l'existence d'un fond de radioactivité naturelle dans le lait (35). Cette radioactivité est due à l'activité d'éléments normalement présents dans le lait.

COMPOSITION DU LAIT EN ELEMENTS MINERAUX

HERRIGTON donne la composition suivante :

		à l'état de trace :
Anhydride phosphorique	0,23 %	Baryum
Oxyde de calcium	0,18 %	Aluminium
Oxyde de potassium	0,18 %	Brome
Chlore	0,10 %	Cobalt
Oxyde de sodium	0,06 %	Germanium
Anhydride sulfurique	0,027 %	Lithium
Oxyde de magnésium	0,018 %	Mercure
Zinc	0,0003 %	Molybdène
Cuivre	0,00005 %	Rubidium
Silicium	0,00002 %	Sélénium
Fluor	0,00001 %	Argent
Manganèse	0,000009 %	Strontium
Iode	0,000002 %	Etain

Dans l'étude d'HERRINGTON (29), on ne retrouve aucun élément faisant partie des 3 grandes familles radioactives : Uranium 238 - Thorium 232 - Uranium 235.

Il existe cependant dans le lait 3 radioéléments naturels : le radium, le carbone 14, le potassium 40. Ces trois radioéléments sont les plus souvent rencontrés dans la nature.

RADIUM :

HANDLEY, aux U.S.A. (27), montre l'existence d'une très faible radioactivité due au radium dans le lait :

Lait région Est des U.S.A. = 0,0011 $\mu\mu\text{c}$ de radium/litre
Lait centre Ouest des U.S.A. = 0,0021 $\mu\mu\text{c}$ de radium/litre
Lait Sud des U.S.A. = 0,0023 $\mu\mu\text{c}$ de radium/litre

CARBONE 14 :

Le Carbone 14 formé dans l'air par les rayons cosmiques s'oxyde en CO_2 et se mélange complètement au CO_2 de l'air. Une partie de ce mélange est assimilée par les plantes puis par les animaux par l'intermédiaire de celles-ci. Le Carbone 14 est un élément très faiblement radioactif émetteur de β de 150 KeV (13), sa période est de 5568 ans. L'activité de 1 g. de carbone a été calculée (26), elle est de 15,3 désintégrations par minute.

POTASSIUM 40 :

Le potassium naturel contient un isotope radioactif : le potassium 40.

A) *Potassium dans le lait.*

Dans le lait, le potassium se trouve combiné essentiellement sous forme de chlorure de potassium, de citrate de

potassium, de phosphates mono et hipotassique, avec prédominance du chlorure de potassium.

Produit de sécrétion, son taux peut varier avec les individus. Aussi est-il intéressant de connaître les valeurs moyennes de la concentration en potassium et les limites de variation de cet élément.

La valeur moyenne du taux de potassium dans le lait est de :

- 1,49 g/l pour LEULIER (39 a, b, c).
- 1,4 g/l pour THIEULIN-VUILLAUME (57).
- 1,9 g/l pour PORCHER (50).
- 1,50 g/l pour HERRIGTON (29).
- 1,152 g/l pour KEIRS-SPECK (33).
- 1,50 g/l pour ROCHAIX et TAPERNOUX (52 a).

La détermination au spectrophotomètre de flamme donne (15) :

1,040 g/l avec comme maxima 1,470
comme minima 0,430

B) *Potassium* 40.

Il représente 0.0199 % du potassium total. Sa période est de $1.3 \cdot 10^9$ années. Il se désintègre pour 88 % en donnant un rayonnement β pour 12 % en capturant un électron.

Son activité est nettement supérieure à celle du Carbone 14 : en effet, 1 g de potassium naturel a une activité de 1670 désintégrations par minute (44).

La radioactivité d'un lait non pollué peut donc être assimilée à celle du Potassium 40.

La teneur en potassium variant dans des limites assez grandes, toutes choses étant égales par ailleurs, la radioactivité naturelle des laits doit varier dans les mêmes limites.

2) RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE

L'importance de la radiocontamination du lait est liée à deux groupes de facteurs :

— D'une part interviennent les modes possibles de pollution.

- D'autre part, les propriétés physiques et biologiques des agents contaminants.

MODES DE CONTAMINATION POSSIBLES (1)

La contamination de la vache, donc du lait, au moins pour les radioéléments dont le métabolisme comprend une excrétion lactée, se fait par deux voies :

1° *La voie respiratoire* : par inhalation de vapeurs de radioéléments métabolisables. Ainsi dans l'accident de Windscale, l'incendie de la pile atomique provoqua l'émission de vapeurs d'Iode 131 qui, inhalées et déposées sur les plantes, se retrouvèrent dans le lait de vache.

Cette voie est peu importante dans le cas du lait.

Elle n'est valable que pour l'Iode 131 qui est très volatil.

(1) Nous ne décrivons pas ici les modes de pollution possibles lors du ramassage et du conditionnement des laits.

2° *La voie digestive* : Elle constitue la porte d'entrée essentielle empruntée par les radioéléments. Les aliments se contaminant à leur tour :

- 1° par les retombées radioactives,
- 2° par la pollution industrielle,
- 3° par contamination massive accidentelle.

1° Les retombées radioactives : résultent de la multiplication des explosions nucléaires. Les radioéléments produits par les explosions retombent à la surface de la terre, par sédimentation ou précipitation par les eaux de pluies, c'est le « fall out » des Anglo-Saxons.

Le processus de retombée est intimement lié aux phénomènes météorologiques.

L'importance des retombées varie avec la cadence des expériences nucléaires.

2° Contamination due aux applications pacifiques de l'énergie nucléaire :

Leur importance est croissante, dans ce cas-là la pollution est quasi-inévitable.

Ainsi GUIRLET et LAVIE prévoient pour la France dans le seul domaine des centrales électriques utilisant l'énergie nucléaire :

Pour une augmentation de la production d'électricité de :		Une augmentation des déchets radioactifs de
1960	200 Mégawatt	
1965	850 Mégawatt	2.000 Mégacuries
1970	3.000 Mégawatt	10.000 Mégacuries
1975	10.000 Mégawatt	30.000 Mégacuries (21, 10).

Ces déchets sont constitués essentiellement par les fluides de refroidissement des réacteurs. Après épuration ils sont rejetés soit dans l'atmosphère, soit dans les fleuves et les mers et déterminent :

a) La pollution atmosphérique : la quantité de déchets éliminés est minime. Cependant un danger existe, celui de l'accumulation possible sur une surface restreinte par conjugaison de facteurs géographiques et météorologiques.

b) Pollution des eaux : dans le cas du cycle biologique du lait l'importance en est faible car les déchets sont déversés soit dans les grands fleuves, soit dans les étendues d'eau maritimes (sealine de Windscale).

3° Les radiocontaminations massives :

— Soit accidentelles : accident de Windscale.

— Soit provoquées : conflit nucléaire (39).

Si en dehors des contaminations massives le danger de pollution du lait ne semble pas pressant, il doit être tout de même considéré. En effet, par l'action conjuguée de tous ces facteurs de pollution, on constate une élévation de la radioactivité du lait. Ainsi en Allemagne :

Le lait en 1955 présente $2,5 \cdot 10^{-9} \mu \text{ c/ml}$ de Sr 90.

Le lait en 1957 présente $8 \cdot 10^{-9} \mu \text{ c/ml}$ de Sr 90 (42).

Alors qu'aux U.S.A. on obtient des valeurs sensiblement équivalentes :

En 1958 : $6 \cdot 10^{-9} \mu \text{ c/ml}$ de Sr 90 (56).

ETUDE DES PROPRIETES PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES DES RADIOELEMENTS CONTAMINANT LE LAIT

Trois éléments, par leurs propriétés physiques et biologiques, présentent un réel danger lorsqu'ils sont présents, à un taux suffisant, dans le lait. Ce sont : le Strontium 89 ou 90 et son dérivé l'Yttrium 90 ; l'Iode 131 ; le Cesium 137.

Un autre radio-élément a été retrouvé dans le lait : le Zinc 65. VAN DILLA l'a décelé à l'état de trace dans le lait de vaches du Nevada (58). Il semble que le Zinc 65 ait été réellement métabolisé car l'auteur le retrouve dans les muscles et le foie des bovins de cette région.

Par sa période de 250 jours et son rayonnement γ et X de 1,2 MeV, le Zinc 65 présenterait un réel danger si ses propriétés métaboliques étaient fermement établies.

1) Etude du Strontium.

Du point de vue physique, nous distinguerons les Strontium 89 et 90, et l'Yttrium 90.

Du point de vue biologique, nous les assimilerons tous trois au Strontium 90.

Propriétés physiques :

Sr 89 période 53 j. rayonnement β : 1,46 MeV

Sr 90 période 19,9 ans rayonnement β : 0,61 MeV

Y 90 période 2,54 j rayonnement β : 2,18 MeV (26).

PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES :

Le cycle biologique du Strontium 90 est lié à celui du calcium. Aussi, pour préciser le degré de pollution de calcium dans les phénomènes biologiques, a-t-on défini une unité exprimant le rapport $\frac{\text{Strontium}}{\text{calcium}}$: le Sunshine
1 SU = 1 $\mu\mu$ c de Sr/g de Ca. .

a) *Absorption du Strontium 90 par les sols.*

— Les retombées radioactives contaminent le sol en Sr 89 et 90. Une enquête du Laboratoire de Lamont (U.S.A.), portant sur 17 stations d'observation réparties dans le monde, montre qu'il y a répartition homogène du « Fall out » avec prédominance pour l'hémisphère Nord (37).

— L'absorption est liée à la teneur du sol en ions Ca^{++} : elle procède par échanges ioniques. Plus la teneur du sol en Ca^{++} est élevée, moins le Strontium 90 se fixe (7, 40, 17, 6). C'est ainsi que les pâturages de montagne pauvres en calcium fixent davantage de Strontium 90.

— Les travaux agricoles contribuent à la pénétration du Strontium 90 dans le sol (8).

— L'élimination du Strontium 90 par lavage des sols par les eaux de pluies est liée à de nombreux facteurs dont l'influence est mal déterminée (10, 4).

— Enfin, d'une manière générale, la pénétration du Strontium 90 dans le sol ne dépasse par 7 cm.

b) *Fixation du Strontium 90 par les végétaux.*

— Il semble que les plantes fassent une première discrimination métabolique entre le Strontium 90 et le calcium. En effet, le rapport $\frac{\text{Strontium 90}}{\text{calcium}}$ dans les tissus végétaux est inférieur au rapport $\frac{\text{Strontium 90}}{\text{calcium}}$ du sol sur lequel croissent les plantes. Si bien que le rapport $\frac{\text{Strontium 90 végétal}}{\text{Strontium 90 du sol}}$ a pour valeur $\frac{7}{10}$ (36).

— La fixation du Strontium 90 est liée :

a) A la profondeur de pénétration du Strontium 90 dans le sol.

b) A la profondeur de la racine : d'une manière générale, plus la racine est profonde, plus l'absorption est faible.

— Enfin, parmi les aliments de la vache laitière, certains sont plus riches en Strontium 90 que d'autres. C'est le cas des légumineuses qui fixent mieux le Strontium 90 que les graminées (25, 60, 53).

Métabolisme du Strontium 90 chez la vache laitière.

— L'organisme de la vache laitière va procéder à deux discriminations métaboliques : une première fois au niveau de la barrière intestinale, une deuxième fois lors des échanges sang — substance osseuse. Si bien que le squelette des herbivores ne renferme que de 25 à 50 % du Strontium 90 ingéré par la vache.

Ainsi, si nous avons : 10 SU dans le sol, il reste 7 SU dans la plante, 3,5 à 1.75 SU sur le squelette des herbivores (8).

— Excrétion au niveau de la mamelle.

Si le processus se termine par l'élimination du Strontium 90 de la vache laitière, on ne peut parler d'excrétion véritable mais plutôt de sécrétion. Cette sécrétion est accompagnée d'une nouvelle discrimination métabolique entre le calcium et le Strontium 90, toujours au profit du calcium. Et seul 1 SU sur les 7 absorbés par la vache se retrouve dans le lait (8).

— Pour certains auteurs même : COX, MORGAN, TAYLER (14), seul 1,2 % du Strontium 90 absorbé se retrouverait dans le lait.

Métabolisme du Strontium 90 dans l'organisme humain.

— La période biologique, c'est-à-dire le temps nécessaire pour que la moitié de l'élément soit éliminée par l'organisme, est de 190 jours.

— Absorption. Il existe chez l'homme aussi une discrimination au niveau de la barrière intestinale : 60 % du Strontium 90 ingéré passe dans le sang.

— Fixation. La fixation se fait au niveau des os : sternum, vertèbres, côtes. Le calcium ici aussi prédomine dans les mécanismes de fixation et seuls 40 % du Strontium 90 sanguin est retrouvé dans les os (55).

Mais la période effective est alors de 7,5 années avec 4 à 5 % de produits de fission, ce qui constitue un pourcentage élevé et particulièrement dangereux (8).

— Le métabolisme du Strontium 90 semble être lié d'une part au calcium, d'autre part au phosphore, le tout en relation avec la vie hormonale du sujet.

Ainsi WASSERMAN et COMAR montrent que chez le rat pubère la fixation du Strontium 90 est liée au calcium et au phosphore. Alors que chez le rat impubère la fixation du Strontium 90 est liée au seul calcium (62).

De même chez l'homme, la possibilité de concentration du Strontium 90 est plus grande chez le nourrisson que chez l'adulte :

Os adultes (U.S.A.) : 0,12 SU (48) ; os enfants morts en bas âge : 0,26, 0,79 SU (49).

Dangers que présente le Strontium 90 pour l'homme.

— Expérimentalement, la dose mortelle chez le chien de Sr 89 est de 1 $\mu\text{C/g}$ (27).

— Les troubles que provoque la fixation du Strontium 90 au niveau des os sont à caractère malin = ostéosarcome, et leucoses par irradiation de la moelle.

— L'Yttrium 90 provoquerait des cancers du côlon (27).

CONCLUSIONS.

— Par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire sol-végétaux-herbivores-lait, le Strontium 90 produit dans les réactions de fission atteint l'homme. Mais l'atteinte de l'homme par le jeu des discriminations métaboliques est minime.

Cependant, il y a un rapport direct entre l'augmentation de la radioactivité de la biosphère et la teneur en Strontium 90 du lait : phénomène constaté par

SETO KUDO au Japon de 1948 à 1957 (34).

MERTEN et KNOPP en Allemagne (42).

ALSTAD, KJEBERG, OLSEN, PAPPAS en Suède (1).

MISEREZ en Suisse (44, 54), etc. .

Aussi, la Commission Internationale de Protection radiologique a établi des critères provisoires fixant en

cas d'exposition continue les niveaux maxima admissibles de produits de fission dans l'herbe ingérée par les vaches laitières (11) :

Pour le	Risque pour	Si dans l'herbe	dans le sol	Dépôts/jour
		$\mu\text{C/g}$	$\mu\text{C/m}^2$	$\mu\text{C/m}^2/\text{j}$
Sr 89	vache	$9. 10^{-4}$	$2 10^{-1}$	$1 10^{-2}$
	nourrisson	$4. 10^{-4}$	$1 10^{-1}$	$8 10^{-3}$
Sr 90 Y 90	nourrisson	$1. 10^{-5}$	$2 10^{-3}$	$2 10^{-4}$
	vache	$5. 10^{-6}$	$1 10^{-3}$	$9 10^{-5}$

— Enfin, la connaissance précise des cycles est nécessaire, non seulement elle souligne l'importance du contrôle de la radioactivité du lait mais elle permet d'envisager des mesures de prophylaxie pour réduire le taux de pollution des laits : chaulage, travail profond des sols, préférences des graminées aux légumineuses en cas de contamination, etc. Ces possibilités doivent être connues du Vétérinaire.

II) Etude du Césium 137.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES :

Période 33 ans

Rayonnements $\left\{ \begin{array}{l} \beta = 0,52 \text{ MeV (26).} \\ \gamma = 0,66 \text{ MeV (30).} \end{array} \right.$

PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES :

Absorption au niveau du sol.

— Processus ioniques identiques à ceux de la fixation du Strontium, mais ici le rapport $\frac{\text{Fixation du Cesium 137}}{\text{teneur en calcium}}$ varie en sens inverse du rapport $\frac{\text{Strontium 90 fixé}}{\text{teneur en calcium}}$

Plus la teneur du sol en calcium est grande, plus le Cesium 137 se fixe (8, 17). Vis-à-vis du potassium l'action est inverse (40, 32, 22).

Fixation par les végétaux.

Les expériences de l'Université de Californie (8) montrent que le Cesium 137 est 10 fois moins absorbé par les végétaux que le Strontium 90.

— Si l'on connaît mal la fixation du Cesium 137 par les aliments de la vache, on a constaté expérimentalement (8) que d'une façon générale les plantes fixent de 5 à 10 % du Cesium 137 répandu sur le sol.

Métabolisme du Césium 137 chez les animaux :

— La période biologique du Césium 137 est de 17 jours au niveau des muscles. Le Césium 137 ayant un métabolisme parallèle à celui du potassium, se fixe en grande partie comme celui-ci au niveau de tissus musculaires.

— Contrairement au Strontium 90, il ne subit pas de discrimination métabolique au niveau de la barrière intestinale. Et le rapport $\frac{\text{Césium 137 sanguin}}{\text{Césium 137 ingéré}}$ est égal à 1.

Danger pour l'homme :

Bien que concentré au niveau des muscles, on soupçonne le Césium 137 d'être susceptible d'entraîner des modifications du potentiel héréditaire. Car très soluble dans le sang il va facilement irradier les gamètes.

Suivant la même chaîne alimentaire que le Strontium 90, on constate pour le Césium 137 la même augmen-

tation de concentration dans le lait que pour le Strontium 90 (3, 41).

III) Etude de l'Iode 131.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES :

Période 8,1 jours

Rayonnements $\left\{ \begin{array}{l} \gamma : 720 \text{ KeV (16).} \\ \beta : 0,815 \text{ MeV,} \end{array} \right.$

PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES :

— *Absorption par le sol.*

Processus ioniques indépendants des cations.

— *Fixation par les végétaux.*

Le taux d'iode normal dans le fourrage vert est de 2 à 100 $\mu\text{g/kg}$.

Métabolisme de l'Iode 131.

— Dans le lait non pollué, l'iode normal est présent dans le lactosérum au taux de 30 à 70 $\mu\text{g/litre}$.

— Sa période biologique est de 120 jours (8).

— Il n'existe pas pour l'Iode 131 de discrimination métabolique au niveau de la barrière intestinale.

— Inhalé, 75 % de l'Iode 131 parvient à la thyroïde alors que par voie digestive seuls 20 % de l'Iode 131 se fixent sur la thyroïde (8).

— Le taux de fixation sur la thyroïde varie avec l'âge du sujet : il est plus important chez le sujet en croissance (59).

— Le taux d'Iode 131 excrété dans le lait est de 5 % de l'Iode 131 ingéré (2):

Aussi, de la même façon que pour le Strontium 90, on a précisé pour l'Iode 131 les taux maxima admissibles dans l'herbe ingérée par la vache laitière.

Risque pour	Si l'herbe contient	Si le sol contient	Soit dépôt
Vache	$2 \cdot 10^{-4} \text{ } \mu\text{C/g}$	$4 \cdot 10^{-2} \text{ } \mu\text{C/m}^2$	$4 \cdot 10^{-3} \text{ } \mu\text{C/m}^2/\text{j}$
Nourrisson (CIPR) (8)	$2 \cdot 10^{-4} \text{ } \mu\text{C/g}$	$4 \cdot 10^{-2} \text{ } \mu\text{C/m}^2$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ } \mu\text{C/m}^2/\text{j}$

3) CONTROLE DE LA RADIOACTIVITE DU LAIT

Méthodes de Contrôle.

I. — MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ GLOBALE.

Se pratique pour augmenter l'efficacité des appareils de comptage, sur un échantillon aussi condensé que possible.

a) Dans ce but on effectue la destruction des matières organiques.

1° Par calcination ménagée des poudres de lait au four électrique.

2° Par minéralisation de la poudre de lait selon la méthode de KJELDALH, ou par voie perchlorique (8).

3° Ou encore par la méthode dite totale : l'échantillon étant brûlé sans précaution dans une enceinte fermée, les cendres sont recueillies, les produits de distillation condensés d'abord dans l'acide sulfurique concentré, puis dans la soude, enfin dans l'air liquide (8).

b) Un procédé original a été mis au point par J. MORRE (45). la poudre de lait est comprimée après avoir été mélangée à un liant : le Scurol, dans un cylindre creux (sous volume constant) qui reçoit en son centre un tube de Geiger.

2. — ISOLEMENT ET DOSAGE DES RADIOÉLÉMENTS.

La mesure de la radioactivité globale d'un échantillon ne constitue qu'une orientation grossière qui permet seulement de préciser un danger et de suivre l'évolution de la radioactivité dans une zone critique.

Mais le danger réel, lié à la présence d'un radio-élément nocif risque de passer inaperçu à côté de la radioactivité naturelle représentée par le potassium 40. Il convient donc d'effectuer la séparation des radio-éléments, de les identifier et de mesurer leur radioactivité propre.

1° *Séparation des éléments.*

a) Méthodes utilisées pour le Strontium :

— Utilisation de l'acide trichloracétique à 25 % et précipitation des alcalino-terreux par la soude (46).

— Minéralisation sèche de la poudre de lait et précipitation des alcalino-terreux. Le Strontium est séparé de la grande masse de calcium grâce à l'insolubilité de son nitrate dans l'acide nitrique concentré. La purification s'effectue sur une colonne échangeuse de cation (31).

— Précipitation à l'état de carbonate pour l'élimination du calcium, suivie d'une purification du nitrate de Strontium pour éliminer le baryum (8).

b) Méthode commune au Strontium et Césium.

— Par passage sur résine D O W E X 50 W K 12 (43)
(résine échangeuse de cation).

c) Méthode propre au Césium.

— Précipitation des autres éléments présents et isolement du Césium par des réactions spécifiques au Chloro/Platinate, au phosphotungstate, aux iodures de Bismuth et Potassium (8).

d) Méthode utilisée pour l'Iode.

Oxydation directe et séparation de l'Iode par tétrachlorure de carbone, calcination de la solution restante, oxydation et séparation de l'Iode restant par tétrachlorure de carbone (5).

2° *Dosage et identification des éléments.*

On utilise :

1° Des appareils de comptage munis de dispositifs électroniques, dits d'anti-coïncidence, permettant d'éliminer toute trace de radiations ambiantes.

2° Des méthodes spectrographiques pour les radioéléments émettant des γ avec des spectromètres et spectrographes enregistreurs (31).

Utilisant la spectrométrie, JEANMAIRE, FOURNIGUET et MICHON dosent directement le Césium dans les poudres de lait sans isolement chimique préalable du Césium (30).

Moyens de contrôle.

Ils sont officiellement définis par la circulaire minis-

térielle n° 736 du 30 janvier 1959 (Ministère de l'Agriculture).

Dans cette circulaire est mise sur pied une organisation de contrôle de la radiocontamination des aliments d'origine animale destinés à l'homme.

Cette organisation est à 3 échelons, elle comprend :

1° Des Laboratoires locaux, avec un personnel à compétence limitée utilisant :

— des appareils portatifs de détection (D O M 501 D O K 402) ;

— des appareils détecteurs de première urgence (I P A 82).

2° Des Laboratoires régionaux présentant une certaine importance parce qu'au voisinage de Centres atomiques, de mines, d'usines de purification d'uranium, etc. Ces laboratoires sont dotés d'un matériel de détection et de dosage de premier échelon.

3° Des Laboratoires nationaux pratiquant l'isolement et le dosage des radioéléments (8, 41, 20).

CHAPITRE III

TRAVAIL PERSONNEL

OBJET DE LA THESE

Nous avons vu dans le chapitre précédent les différentes méthodes utilisées pour doser les radioéléments dans les poudres de lait. Ces méthodes, précises, nécessitent un personnel hautement qualifié, une installation coûteuse, un certain délai.

Ainsi la recherche et le dosage des isotopes 89 et 90 du Strontium selon la méthode JEANMAIRE et MICHON exige une installation de mesure à faible mouvement propre d'une valeur considérable, des manipulations chimiques délicates, de plus les résultats ne sont connus que dans un délai de 15 jours. Enfin, un seul des trois radioéléments susceptibles de polluer le lait a été mis en évidence et dosé.

Ces méthodes, de part leurs difficultés, voient leurs objectifs se limiter à la précision de la nature et de l'importance de la radiocontamination. Elles seront pratiquées par des Laboratoires à l'échelon national et ne seront mises en œuvre qu'après détection de la pollution à l'échelon régional. -

Une méthode de détection de la radiocontamination

utilisée par un Laboratoire régional doit répondre aux impératifs suivants :

Etre rapide : permettant une surveillance régulière des laits, d'une part ; de faire face à une surcharge des Laboratoires en cas d'accident ou de conflit nucléaires, d'autre part.

Simple : permettant l'utilisation d'un personnel de compétence limitée.

Peu onéreuse : permettant l'équipement de nombreux laboratoires régionaux.

Précise : sa précision se limitant aux valeurs de la concentration maxima permise (C.M.P.) pour chaque élément.

Enfin, la mise au point de méthodes permettant de déceler une contamination à l'échelon régional avec un matériel rudimentaire est d'autant plus nécessaire qu'elle répond à l'impératif de dispersion des moyens et des compétences, propre à la stratégie nucléaire. On peut supposer qu'un Laboratoire national dans la région parisienne serait rapidement anihilé dans l'hypothèse d'un conflit nucléaire.

Aussi allons-nous envisager les possibilités d'utilisation d'un équipement élémentaire, constitué par un ensemble compteur GEIGER-MULLER et échelle de mille.

Nous nous heurtons à deux difficultés majeures.

La première est constituée par le caractère relatif des mesures faites à l'aide d'un compteur GEIGER-MULLER.

La mesure de la radioactivité à l'aide d'un compteur GEIGER-MULLER est la mesure d'une activité apparente et

non du nombre exact de désintégrations produites dans l'échantillon.

En effet, il nous faut tenir compte :

— De la géométrie du système : c'est-à-dire des positions respectives du compteur et de la source ; celle-ci émet dans toutes les directions alors que la fenêtre du compteur ne définit avec la source qu'un angle solide limité.

- Des pertes par absorption soit dans l'air interposé entre la source et le compteur, soit au sein même de l'échantillon (auto-absorption).

— Des pertes correspondant au rendement de l'installation complète : compteur et échelle.

— D'une augmentation résultant de la diffusion du rayonnement par le support même de la source dans la direction du compteur (rétrodiffusion).

Deuxième difficulté : il faut distinguer la radiocontamination de la radioactivité naturelle due au potassium ^{40}K . Or le rapport radioactivité naturelle/concentration en potassium varie avec la composition du lait suivant des paramètres non déterminés.

Pour obvier à ces deux difficultés, nous proposons la méthode suivante :

-- Nous préparons des échantillons, de masses égales, de la poudre de lait étudiée.

— A ces masses égales, nous ajoutons des quantités croissantes de potassium.

— Ensuite nous mesurons l'activité apparente de chaque échantillon.

— Et nous traçons la courbe joignant les points ayant pour abscisses la surcharge en potassium et pour ordonnées l'activité apparente mesurée.

— Enfin, nous dosons le Potassium dans l'échantillon-témoin.

Si l'équation de la droite obtenue est de la forme $y = ax$, la radioactivité est due seulement à la présence de Potassium 40.

Si l'équation de la droite est de la forme $y = ax + b$, il existe une source étrangère de radioactivité, le lait est radiocontaminé. La contamination est exprimée par le paramètre b . La valeur de b étant significative.

Ceci suppose que pour un lait non pollué la courbe obtenue a bien pour équation : $y = ax$. Nous essaierons de le démontrer expérimentalement.

Utilisant des échantillons de masse et de composition constante (si ce n'est la surcharge en potassium) nous n'avons pas à tenir compte de la géométrie du système, ni de l'absorption pour chaque échantillon. Nos différentes mesures sont comparables.

Nous allons donc :

— Dans un premier temps montrer le rapport direct entre la teneur en potassium et la radioactivité naturelle d'une poudre de lait supposée non polluée.

— Dans un deuxième temps nous essaierons de déceler la radiocontamination d'une poudre de lait polluée expérimentalement.

APPAREILLAGE

L'ensemble utilisé, construit, sous licence C.E.A., par l' « Electronique Appliquée », comprend :

— Un compteur GEIGER-MULLER, avec château de plomb et préamplificateur.

— Une échelle de mille.

1° *COMPTEUR GEIGER-MULLER :*

Le compteur de type 13 A 7, est de modèle dit compteur cloche.

Un tel compteur possède un très bon rendement pour les émetteurs β . Ce qui est le cas des éléments pouvant contaminer le lait.

Vis-à-vis des émetteurs γ , le rendement serait très faible et pratiquement nul pour des rayonnements α .

Réglage : Le compteur est alimenté en courant à très haute tension par une alimentation stabilisée, type ALS 400 C. La valeur de la très haute tension est déterminée expérimentalement. Il existe pour chaque compteur

une courbe caractéristique que l'on peut construire en enregistrant la réponse du compteur (nombre de coups-minute), en fonction des diverses valeurs de la tension d'alimentation. Cette courbe présente un palier de pente très faible, dont le milieu définit une tension correspondant au régime de fonctionnement GEIGER-MULLER, pour laquelle la réponse du compteur est identique quelles que soient la nature et l'énergie de la particule ionisante qui le pénètre.

La valeur de la très haute tension déterminée expérimentalement est de 1700 volts (20).

Préamplification : Les impulsions fournies par le compteur subissent une préamplification (préamplificateur GMP₃) avant d'être transmises à l'échelle de comptage.

Château de plomb : Le compteur est placé dans un château de plomb qui le met à l'abri des rayonnements parasites.

2) *ECHELLE DE MILLE* : Son rôle est d'enregistrer et totaliser les impulsions données par le compteur. Un système de voyants lumineux, groupés en 3 séries représentant respectivement les chiffres des unités, des dizaines, des centaines, indiquent le nombre des impulsions reçues depuis la mise en fonctionnement. Un numérateur mécanique enregistre à son tour les chiffres des mille, dix mille et cent mille.

Réglage : Un dispositif dit discriminateur d'amplitude permet de fixer le seuil d'enregistrement pour l'échelle de mille en dessous duquel les impulsions correspondant à des variations de potentiel trop basses ne sont plus comptées.

Le réglage du discriminateur se fait de la même façon que celui de la très haute tension. La valeur optimale de la tension du discriminateur déterminée expérimentalement est de 2,2 volts (20).

PRINCIPE DES MESURES

MOUVEMENT PROPRE ET PRECISION STATISTIQUE

La mesure de l'activité apparente consiste à déterminer le nombre de particules émises par la source radioactive et enregistrées par le compteur GEIGER-MULLER.

On l'exprime en coups-minute. Pour N coups en t minutes, l'activité apparente est de : $\frac{N}{t}$

Mouvement propre. Activité apparente nette.

Le rayonnement cosmique, la radioactivité du milieu, naturelle ou artificielle, malgré la protection exercée par le château de plomb, déterminent une certaine activité qui est enregistrée par le compteur GEIGER-MULLER.

Si bien que le compteur fonctionnant « à vide », sans échantillon, enregistre un certain nombre de coups par minute. C'est ce que l'on appelle le mouvement propre de l'installation.

Le mouvement propre doit être soustrait de l'activité constatée ou activité apparente brute de la source, pour calculer l'activité nette due à l'échantillon.

En raison de ses variations dans le temps, le mouvement propre ne peut être déterminé une fois pour toutes. Il convient de le vérifier avant et après chaque mesure.

Précision statistique. Ecart-type.

Si on réalise une série de comptages successifs avec une source donnée ou pour établir un mouvement propre, les valeurs calculées $n_1 n_2 n_3 \dots n_k$ pour les nombres $N_1 N_2 N_3 \dots N_k$ de coups en $t_1 t_2 t_3 t_k$ minutes, ne sont pas identiques mais sont distribuées autour d'une valeur moyenne : m suivant une loi statistique de Poisson.

Comme à toute distribution statistique il est possible d'attribuer à l'ensemble des valeurs obtenues $n_1 n_2 n_3$ un écart-type défini par la relation générale :

$$\sigma^2 = \frac{\sum (n - M)^2}{K}$$

k étant le nombre total de mesures.

Théoriquement, on montre que dans le cas d'une distribution de Poisson, l'écart-type relatif à un comptage

unique de N coups est égal à $\sqrt{\frac{1}{N}}$.

Il en résulte que l'écart-type relatif à un nombre n de coups-minute sera

$$\text{coups-minute sera } \sigma = \sqrt{\frac{1}{N}}$$

De la définition de l'écart-type, il résulte que la véritable activité apparente doit être comprise :

$$\text{Pour 68 \% des cas dans l'intervalle } \frac{N}{t} \pm \sigma$$

$$\text{Pour 95 \% des cas dans l'intervalle } \frac{N}{t} \pm 2 \sigma$$

Lorsqu'on mesure l'activité d'une source on est amené à déterminer le mouvement propre, puis l'activité brute de la source, pour l'activité nette :

Soit σ_1 l'écart-type relatif au comptage du mouvement propre.

Soit σ_2 l'écart-type relatif au second comptage (avec source).

Au résultat final (activité apparente nette de la source) s'adjoint un écart-type donné par la formule :

Précision statistique.

$$\text{La précision statistique, c'est-à-dire } \frac{\sqrt{\frac{N}{t}}}{\frac{t}{N}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{t}{N}}}$$

ne dépend que du nombre de coups enregistrés.

Pour avoir une précision de valeur à peu près constante dans nos mesures, nous enregistrons à chaque comptage un chiffre voisin de 2000 coups. Nous obtenons ainsi une précision de l'ordre de 2,25 %.

PRATIQUE GENERALE DES MESURES

D'une façon générale pour les 3 séries de mesures que nous avons pratiquées, nous procédons en 3 phases :

- Préparation des échantillons.
- Mesure de l'activité.
- Dosage du potassium.

Préparation des échantillons.

Matière utilisée :

La poudre de lait, entier, non sucré, homogénéisé, sous sa forme commerciale, de composition moyenne :

26-28 % de matières grasses, 26,5 % de protéines, 39 % de lactose, 5,5 % de sels minéraux, 3 % d'eau.

Dans la première série de mesures, nous utilisons des cendres de poudre de lait. Nous incinérons 50 g de poudre de lait, d'abord dans un bain de sable durant 4 heures environ, ensuite pendant 24 heures au four électrique à

500°. Nous obtenons ainsi de 2 à 4 g de cendres selon les échantillons.

Dans la deuxième et la troisième série de mesures, nous utilisons directement la poudre de lait à raison de 2 g pour chaque échantillon.

Pesée :

La pesée des échantillons se fait à 0,5 mg près à la balance de précision.

Enrichissement des échantillons :

L'enrichissement des échantillons est pratiqué avec des volumes très faibles de chlorure de potassium cristallisé (produit pur RP). Aussi une dilution préalable est nécessaire. Dans la première série de mesures, le chlorure de potassium est apporté par une solution aqueuse. Dans les deux autres séries de mesures, le chlorure de potassium est dilué préalablement dans de la poudre de lait.

Charge des cupules.

Nous utilisons des cupules de format identique :
diamètre intérieur : 31 mm ; profondeur : 5 mm.

La charge des cupules est de 4 g maximum pour les cendres ; 2 g pour la poudre de lait.

Les cendres sont au préalable pulvérisées au mortier. La surface de la charge est égalisée avec un maximum de précautions, afin d'obtenir une répartition de la poudre aussi régulière que possible.

Mesure de l'activité.

Mise en place :

Nous fixons les cupules sur un support en plexiglas.

Le support est engagé dans une cannelure, toujours la même, d'un châssis placé sous le compteur, dans la chambre de plomb. Ainsi, pour toutes les mesures, les cupules ont exactement la même position vis-à-vis de la fenêtre du compteur : les conditions géométriques sont toujours les mêmes.

Mesure du temps :

Le temps est mesuré à l'aide d'un chronomètre que l'on déclenche lors de la mise en fonctionnement et que l'on arrête à l'arrêt du compteur.

Les mesures portant sur des temps de l'ordre de 150 minutes, la précision à la seconde près est suffisante.

Rythme des mesures :

D'une façon générale, nous effectuons deux mesures et un mouvement propre par jour. Le comptage du mouvement propre se faisant en milieu de journée, entre les deux mesures.

Chaque comptage porte sur 2000 coups environ pour avoir une précision constante de l'ordre de 2.25 %.

Avant la première mesure, nous laissons fonctionner l'appareil à vide, afin que la tension se stabilise, pendant une dizaine de minutes environ.

Dosage du potassium (15).

Le potassium est dosé au spectrophotomètre de flamme selon la méthode de KEIRS et SPECK (33).

Le spectrophotomètre utilisé est un appareil UNIC AMSP 900 à monochromateur, dont le brûleur est alimenté par un mélange air/acétylène.

A l'aide de solutions standard, après réglage de l'appareil, nous établissons une courbe d'étalonnage. Les mesures sont alors faites sur les solutions préparées à partir des échantillons.

De la courbe d'étalonnage, nous déduisons les teneurs en potassium des solutions. A partir de ces résultats, nous calculons la quantité de potassium contenue dans les échantillons.

PREMIERE SERIE DE MESURES

Cette première série de mesures porte sur des cendres de poudres de lait. L'incinération éliminant les matières organiques, nous avons une concentration très forte de matières minérales. La teneur élevée en potassium des cendres permet, ainsi, des mesures plus rapides et plus précises. Cependant l'incinération, même conduite avec précautions, peut être accompagnée de phénomènes de volatilisation, en particulier pour les métaux alcalins et, parmi ceux-ci, le potassium.

Nous allons donc, d'une part, essayer de montrer qu'il existe un rapport direct entre la concentration en potassium et la radioactivité naturelle du lait supposé non pollué ; d'autre part, essayer d'évaluer l'importance de la volatilisation.

A) Préparation des échantillons.

1° Surcharge en potassium.

7 échantillons de 50 g sont pesés.

Ils sont surchargés en potassium par une solution

contenant, pour la commodité des manipulations, 10 mg de potassium par ml, c'est-à-dire :

$$\frac{10 \times 74.5}{39} = 19,10 \text{ mg de KCL/ml.}$$

Les échantillons reçoivent leur surcharge en potassium selon le tableau :

Echantillons :	1	2	3	4	5	6	7
Surcharge en K :	0	50 mg	100	150	200	300	400

2° Incinération.

L'incinération se pratique dans des capsules de platine et de nickel. Nous procédons en deux temps : Un premier temps au bain de sable pendant quatre heures environ, puis les échantillons sont passés au four électrique pendant 20 heures au rouge naissant.

Les cendres obtenues sont pesées :

Echantillon :	n° 1	2,898
	n° 2	3,149
	n° 3	2,050
	n° 4	3,114
	n° 5	4,198
	n° 6	3,819
	n° 7	3,655 grammes.

Bien que nous nous soyons efforcés de procéder de la façon la plus identique possible pour chaque échantillon, nous constatons que le rapport cendres/poudre de lait varie dans des limites assez importantes.

B) Mesure de l'activité.

N°	Mouvement propre			N	Activité brute			Activité réelle
	t	n	σ_1		t	n	σ_2	
1	2.253	180	12,52	0,25	2.686	67	40,08	27,56
2	»	»	»	»	2.668	60	44,46	31,94
3	1.985	160	12,41	0,24	2.541	66	38,42	26,01
4	»	»	»	»	6.564	166	39,44	27,03
5	2.079	165	12,60	0,26	2.900	67	43,24	30,64
6	»	»	»	»	2.999	60	49,99	37,39
7	2.268	183	12,39	0,24	3.129	60	52,16	39,77
								0,82
								0,85
								0,81
								0,81
								0,84
								0,94
								0,96

C) Dosage du Potassium.

Mise en solution des cendres de lait.

— 100 mg de cendres sont pesés avec précision,

— dissous dans 100 ml d'eau distillée contenant 0.6 ml d'H Cl.

— On prélève 0,5 ml auxquels on ajoute 49,5 ml de mélange hydro-alcoolique à 20 % d'alcool.

— Enfin 0,2 ml d'H Cl dilués à moitié sont ajoutés.

4° Quantité de potassium contenu dans les cendres.

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7
Quantité de potassium dans les cendres de 50 g de poudre de lait	554,76	624,33	415,91	527,04	733,92	869,99	911,13 mg.

Connaissant les quantités de potassium réellement
présent dans les cendres, nous pouvons déterminer le
rendement de l'incinération :

ECHANTILLON	1	2	3	4	5	6	7
K avant incinération ...	576 dosé	626 calculé	676 calculé	726 calculé	776 calculé	876 calculé	976 calculé
K retrouvé après inci- nération	554 dosé	624 dosé	415 dosé	527 dosé	733 dosé	869 dosé	911 dosé
%	96	99	61	72	94	98	93

Pour les échantillons 1, 2, 5, 6, 7, le rendement de l'incinération est satisfaisant. Par contre les échantillons 3 et 4 ont subi une forte volatilisation, le premier perdant 39 % de potassium présent, le second 28 %.

D'autre part, la masse des cendres obtenue est très variable. Aussi, nous ne pouvons utiliser la méthode de l'incinération car :

1° Elle implique un dosage de contrôle de chaque échantillon après incinération.

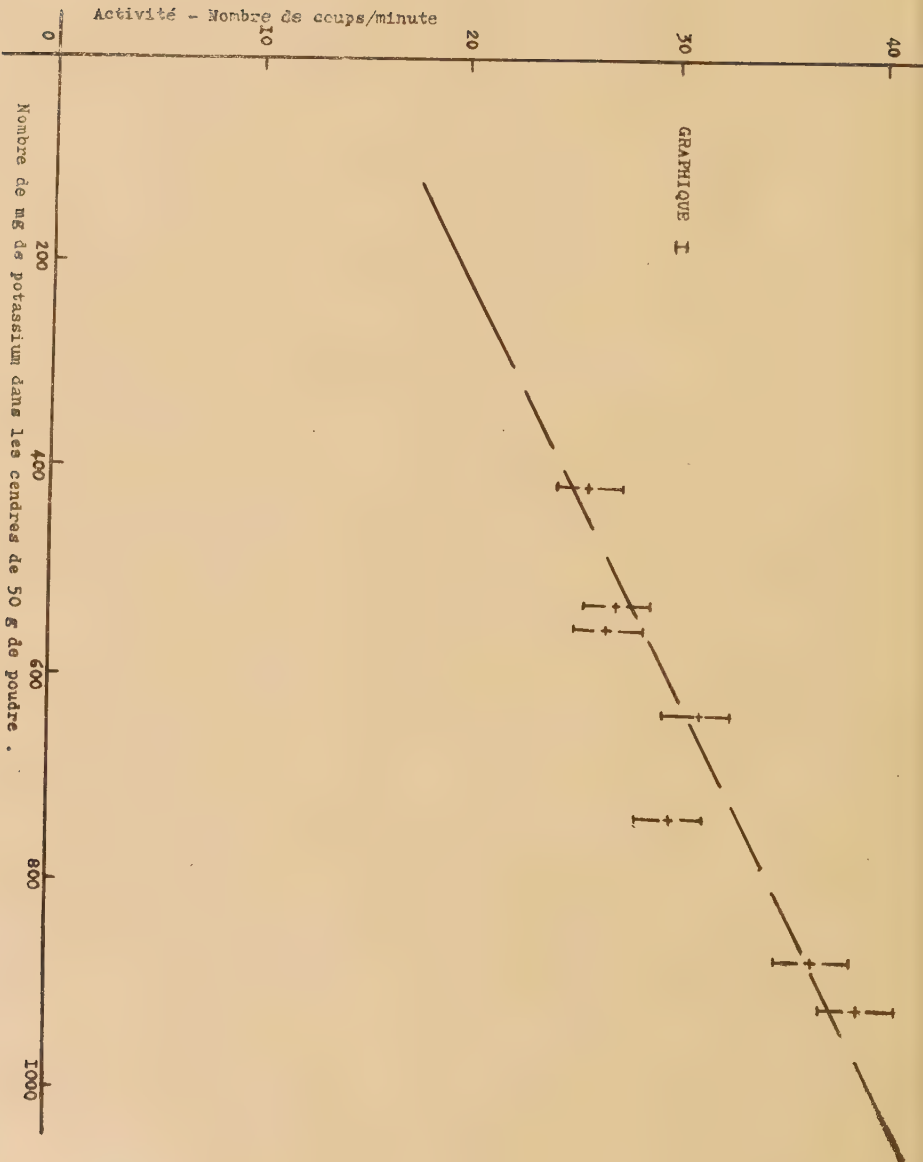
2° Elle nous conduit à des cendres qui, en dehors du potassium, ont une composition variable puisque les masses de cendres obtenues à partir d'échantillons de poudre semblables sont différents.

3° Nous avons constaté la volatilisation du potassium, il est évident, que dans les mêmes conditions d'incinération, nous aurions volatilisation de l'Iode 131. Ce qui rend la méthode caduque.

D) Tracé de la courbe : graphique (1).

Nos mesures ont porté sur des masses inégales de cendres. D'autre part, ces masses ont une composition probablement différente pour chaque échantillon.

Aussi, nous ne pouvons retenir aucun enseignement de la courbe obtenue. En particulier celle-ci ne passe pas par l'origine.



DEUXIEME SERIE DE MESURES

L'utilisation des cendres étant aléatoire, nous avons employé directement la poudre de lait.

Mesure préliminaire.

Une première expérience montre que 2 grammes de poudre (charge maximum des cupules en poudre de lait) ont une activité suffisante pour que les mesures soient valables.

Poids : 2,0005 g.

Activité brute : 2332 coups en 165 minutes :

$$14,13 \text{ c/m } \sigma_1 = 0,29.$$

Mouvement propre : 2117 coups en 167 minutes :

$$12,68 \text{ c/m } \sigma_2 = 0,26.$$

Activité nette : $1,45 \text{ c/m } \sigma = 0,38$ $2 \sigma = 0,76$

$$1,45 \pm 0,76.$$

L'activité apparente nette de la source étant supérieure à 2σ , l'activité de la source est suffisante pour avoir

des mesures valables. Aussi allons-nous dorénavant travailler avec 2 g de poudre.

Préparation des échantillons :

Nous allons, dans cette série de mesure, non seulement augmenter le taux de potassium de la poudre de lait, mais encore le diminuer. Pour diminuer le taux de potassium dans nos échantillons, nous mélangeons la poudre de lait à un lait artificiel qui ne contient pas de potassium.

a) *Echantillons dont la teneur en potassium est augmentée :*

Nous diluons le chlorure de potassium dans des quantités de poudre telles que la précision soit suffisante.

Ensuite, on prélève dans ce mélange 2 g pour chaque mesure que l'on pèse avec précision.

	MELANGES		ECHANTILLONS	
	Poids de poudre (en g/)	K Cl (en mg)	Poids de poudre (en g)	Surcharge en K (mg)
2	19,9965	19,5	2,0020	1,023
3	20,0005	39	2,0005	2,047
4	9,9985	34,5	2,0005	3,620
5	9,9975	42	2,0015	4,410
6	5,0045	38	1,9980	7,980
7	10,0005	84,5	2,0000	8,830
8	5,0025	72,5	2,0005	15,270
9	5,0000	104	2,0005	21,850
10	5,0025	124	2,0000	24,167

b) *Echantillons dont la teneur en potassium est diminuée :*

— Préparation de la poudre de lait artificielle.

Nous mélangeons intimement à l'aide d'un « mixer » un mélange de composition sensiblement identique à celle du lait :

Pour 65 g nous avons : 16 g de matières grasses (beurre), 26 g de lactose, 18 g de caséine, 4,5 g de matières minérales (PO_4 H Ca 3 Cl Na 1,5).

— Mélange :

Nous préparons trois échantillons, n° 11, 12, 13 dans lesquels la poudre de lait représente respectivement les 75, 50, 25 % du total.

Dans ces 3 échantillons, la teneur en potassium par

rapport à la poudre normale est : $\frac{3}{4}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$

Mesure de l'activité.

N°	Mouvement propre				Activité brute				Activité nette	
	N	t	n	σ_1	N	t	n	σ_2	M	2 σ
1	2.117	167	12,68	0,26	2.332	165	14,13	0,29	1,45	0,76
2	2.394	190	12,60	0,25	2.453	160	14,43	0,29	1,83	0,76
3	2.630	210	12,52	0,24	2.143	150	14,29	0,29	1,77	0,74
4	»	»	»	»	2.139	150	14,26	0,29	1,74	0,76
5	2.372	190	12,48	0,25	2.130	150	14,20	0,30	1,72	0,74
6	2.174,4	180	12,08	0,23	2.114	145	14,58	0,29	2,50	0,74
7	2.630	210	12,52	0,24	2.103	145	14,50	0,30	1,98	0,74
8	2.174,4	180	12,08	0,25	2.438	165	14,77	0,30	2,69	0,78
9	2.375	190	12,50	0,24	2.260	150	15,07	0,30	2,57	0,76
10	»	»	»	»	2.504	165	15,18	0,30	2,68	0,76
11	2.720	225	12,35	0,23	1.980	140	14,15	0,31	1,28	0,78
12	»	»	12,35	»	1.910	150	12,73	0,29	0,38	0,74
13	2.684	210	12,87	0,24	1.736	130	13,35	0,32	0,48	0,78

Mise en solution des échantillons.

— 1,3 g de poudre sont pesés avec précision.

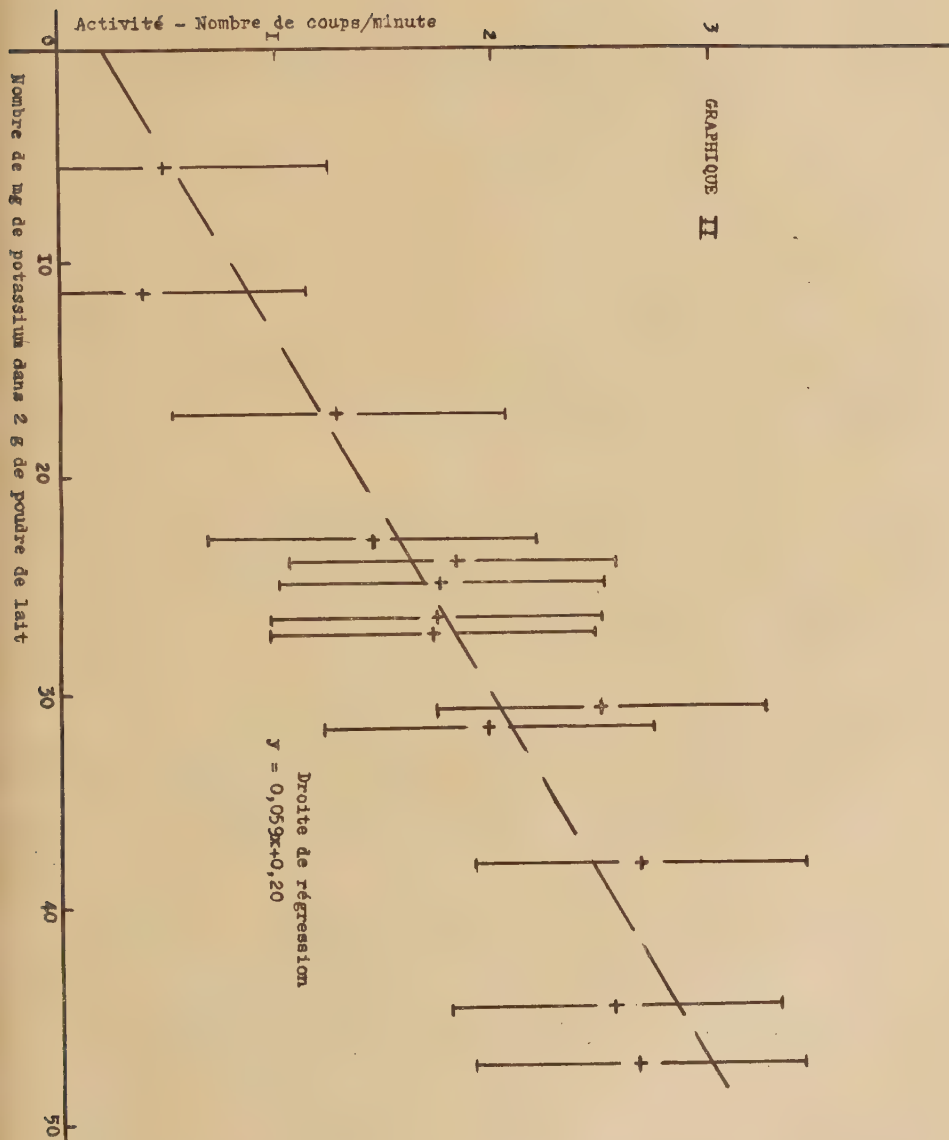
— Mis en solution dans 10 ml d'eau distillée tiède + 4 ml H Cl concentré ; on complète à 100 ml avec de l'eau distillée.

— La solution est filtrée.

— On prélève 5 ml du filtrat auxquels on ajoute 45 ml d'eau et alcool en proportion convenable.

— *Quantité de potassium contenue dans chaque échantillon :*

N°	K normal	Surcharge	Total
1	23	0	23,0
2	23	1,023	24,0
3	23	2,047	25,0
4	23	3,620	26,6
5	23	4,41	27,4
6	23	7,98	30,9
7	23	8,83	31,8
8	23	15,27	38,2
9	23	21,8	44,8
10	23	24,6	47,6
11	23	(—) 5,75	17,2
12	23	(—) 11,5	11,5
13	23	(—) 17,25	5,7



CONCLUSIONS. *

1° La courbe se présente bien comme une droite passant près de l'origine des coordonnées dont l'équation est : $y = 0,059 x + 0,20$ *.

En toute rigueur cette droite ne passe pas par l'origine *.

De plus :

a) Dans un lait non contaminé, il faudrait tenir compte de l'activité insignifiante mais réelle due au carbone 14, ainsi que celle du radium.

b) D'autre part, en toute rigueur, le lait ne peut pas être considéré comme non contaminé. Dans notre étude de la radioactivité artificielle des laits, nous avons montré que tous les laits recueillis ces dix dernières années sont très faiblement contaminés.

Cependant, ces deux sources d'activité : radioéléments naturels, radioéléments artificiels, ont une activité totale non décelable par notre appareillage. Aussi, admettrons-nous que la droite passant par l'origine exprime bien le rapport de la radioactivité mesurée, à la teneur en potassium du lait.

2° Le mélange : poudre de lait artificielle et poudre de lait naturelle, semble suffisamment homogène pour permettre des mesures significatives avec une teneur de potassium inférieure à la teneur normale de la poudre de lait naturelle.

* puisque le paramètre b de l'équation générale $y = ax + b$ n'est pas nul. Mais il faut tenir compte du fait que cette série de mesures est effectuée avec un écart type voisin de 0,20. La valeur de b inférieure à deux écarts types ne doit pas être considérée comme significative.

TROISIEME SERIE DE MESURES

Le rapport direct entre le taux de potassium des échantillons et leur radioactivité étant établi, il reste à montrer que, dans le cas d'un lait pollué par un radio-élément, la courbe symbolisant le rapport entre le taux de potassium et la radiocontamination est de la forme : $y = a x + b$ avec un coefficient b significativement supérieur à zéro.

Préparation des échantillons :

a) *Pollution artificielle du lait.*

La contamination se fait par dilution dans la masse de poudre d'une petite quantité d'acétate d'uranyle : 30 mg d'acétate d'uranyle sont mélangés intimement à 10 gr de poudre.

Nous ajoutons ce prémélange à 465 g de poudre de lait.

Dans cette poudre polluée artificiellement, nous avons donc : $\frac{30 \times 2}{475} = 0,127$ mg pour 2 g de poudre.

Un échantillon-témoin de 2 g de la même poudre, non polluée, est lui aussi préparé (N° 1).

b) *Surcharges en potassium.*

5 échantillons sont pesés : n° 2, 3, 4, 5, 6, les surcharges sont faites directement sans prémélange.

Echantillon n°	2	3	4	5	6
Cl K mg	0	11	20,1	30	50
K mg	0	5,7	10,55	15,7	26,2

Mesure de l'activité.

N°	Mouvement propre				Activité brute				Activité réelle	
	N	t	n	σ_1	N	t	n	σ_2	n	σ
1	1.891	150	12,60	0,29	2.906	210	13,83	0,24	1,23	0,38
2	»	»	»	»	2.281	141	16,10	0,34	3,50	0,45
3	2.043	160	12,76	0,28	3.024	175	17,28	0,31	4,52	0,41
4	»	»	»	»	3.009	180	16,71	0,30	3,95	0,41
5	»	»	»	»	2.912	165	17,64	0,32	5,88	0,41
6	2.100	170	11,76	0,26	2.863	155	18,47	0,33	6,71	0,42

Dosage du Potassium.

Le dosage est conduit comme dans la seconde série de mesures.

— Quantité de potassium dans chaque échantillon (de 2 g).

N° 1 : 24,6	= 24,6	4 : 24,6+10,55	= 35,15
2 : 24,6	= 24,6	5 : 24,6+15,7	= 40,3
3 : 24,6+ 5,7	= 30,3	3 : 24,6+26,2	= 50,8 mg de K

Tracé de la courbe. Graphique III.

CONCLUSIONS.

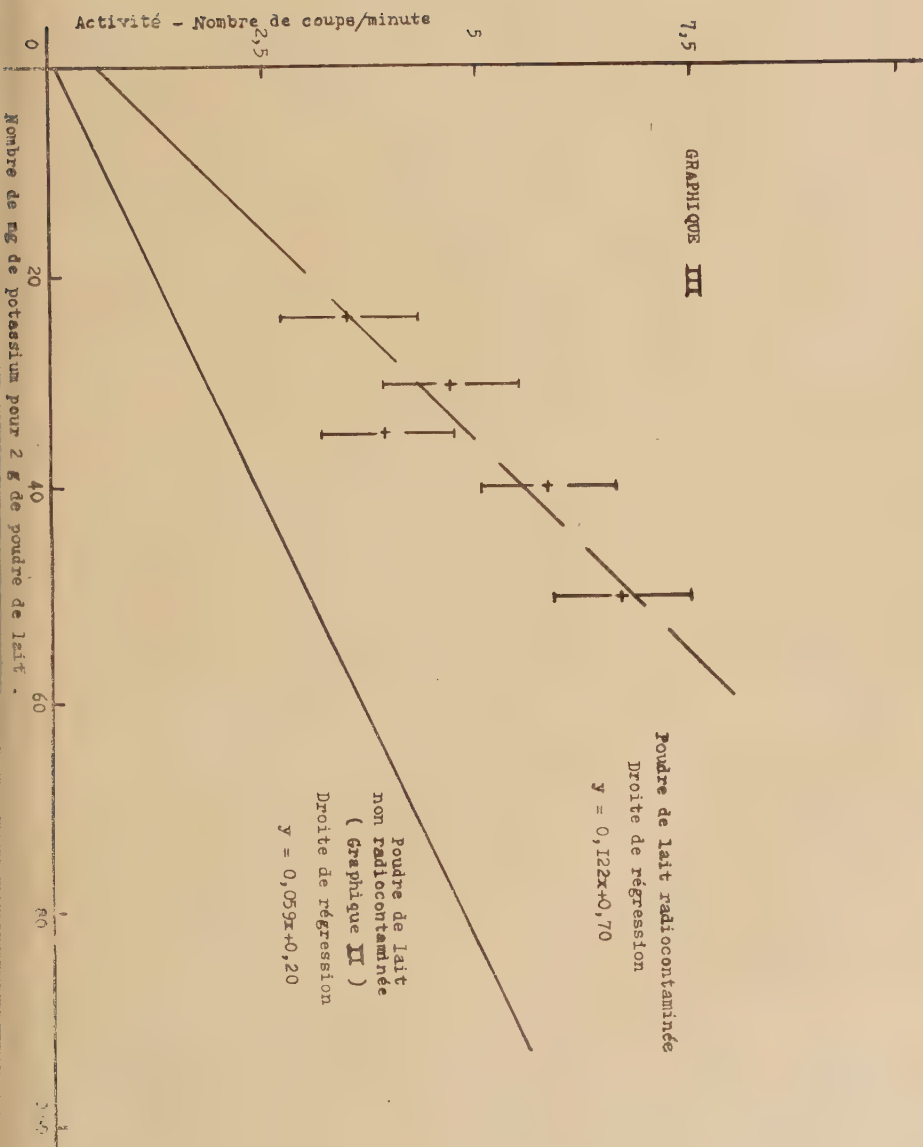
1° La droite tracée est bien de la forme : $y = ax + b$.
La valeur de b voisine de 2σ est significative.

Son équation est : $y = 0,122 x + 0,70$.

2° Cinq mesures suffisent pour déterminer la droite.

3° Nous avons mis en évidence une pollution artificielle due à l'adjonction de 0,068 mg d'acétate d'uranyle pour 1 g de poudre de lait.

4° La méthode utilisée présente un certain inconvénient lié à la nécessité d'établir en quelque sorte, pour chaque échantillon, une courbe d'étalonnage avec différentes surcharges en potassium, ce qui augmente le nombre des mesures. Il faut au maximum 5 comptages, dont la durée est de 2 heures, par échantillon, auxquels s'ajoutent 2 mesures de mouvement propre, soit au total : 16 heures.



COMMENTAIRES

La méthode de contrôle de la contamination radioactive des poudres de lait, dont nous venons d'étudier le principe, est d'un point de vue pratique, simple et peu onéreuse.

Il serait intéressant, avant de l'utiliser, d'une part de connaître sa sensibilité, d'autre part d'essayer de réduire la durée du temps nécessaire à son application.

Cette méthode n'est utilisable que si sa sensibilité est suffisante vis-à-vis des éléments contaminants habituels du lait. C'est-à-dire, si les doses de Strontium 90, Iode 131, Césium 137, pour lesquelles les valeurs minima de b sont significatives, sont inférieures ou égales à la concentration maxima permise (C M P) de chacun des éléments dans le lait.

L'activité apparente mesurée par le compteur GEIGER-MULLER est liée dans une certaine mesure à l'énergie des radiations émises. Aussi, une série de mesures relatives à chacun des trois radioéléments est nécessaire pour déterminer la sensibilité de la méthode.

D'autre part, dans un souci de simplification, il serait intéressant de savoir si la courbe établie dans la deuxième

série de mesure (graphique II) n'est pas valable pour toutes les poudres de lait. Nous pouvons supposer, en effet, que la pente de cette courbe qui traduit le rapport de la radioactivité mesurée à la teneur en potassium des échantillons varie dans des limites étroites pour des poudres de lait différentes. La composition des poudres de lait variant peu, les phénomènes d'auto-absorption doivent être sensiblement identiques. Toutes choses étant égales par ailleurs (appareillage, géométrie, etc...), les mesures portant sur des poudres de lait différentes seraient comparables.

Si cette hypothèse se vérifiait, la valeur du potassium dosé dans un échantillon, reportée sur la courbe devenue alors courbe d'étalonnage, nous donnerait l'activité théorique de l'échantillon. Procédant par différence avec l'activité réellement mesurée, il nous serait facile de mettre en évidence une radiocontamination de l'échantillon considéré.

Aussi, serait-il intéressant, dans un travail ultérieur, de définir : d'une part la sensibilité de la méthode ; d'autre part d'étudier le rapport de la radioactivité mesurée à la teneur en potassium dans le cas des poudres de lait, d'en établir la valeur moyenne et les limites de variation.

CONCLUSIONS

L'étude de la contamination radioactive des laits nous a montré la nécessité d'utiliser des méthodes de contrôle simples et rapides, permettant de distinguer la radioactivité naturelle due essentiellement au Potassium 40, de la radioactivité artificielle due à des radioéléments de pollution.

Dans notre travail expérimental, nous avons étudié le principe et l'application d'une méthode de contrôle fondée sur l'hypothèse qu'il devrait exister une relation simple entre la radioactivité naturelle de la poudre de lait mesurée au compteur GEIGER-MULLER et sa teneur en potassium. Cette relation, a priori linéaire, pourrait être représentée par une droite reliant les activités dues à la radioactivité naturelle et la teneur en potassium des échantillons. Si la poudre de lait n'est pas contaminée, l'équation de la droite, passant par l'origine des coordonnées, doit être de la forme : $y = a x$. Si elle est contaminée, il y aura addition constante d'un certain taux de radioactivité et l'équation de la droite sera alors de la forme : $y = a x + b$. Pour pouvoir conclure à une éventuelle contamination, il faudra évidemment que la valeur trouvée pour b soit significative.

1° Les mesures que nous avons effectuées nous conduisent à penser que :

L'utilisation des cendres de lait dans une méthode de contrôle de la radioactivité des poudres de lait est aléatoire :

a) L'incinération entraîne une volatilisation plus ou moins importante du potassium.

b) On peut penser que parallèlement l'Iode 131 serait volatilisé en plus grande proportion.

c) Le rapport poids de cendre/poids de poudre étant très variable, la composition des cendres varie aussi. Les phénomènes d'autoabsorption ne sont plus alors comparables entre les différents échantillons.

2° Nous avons constaté qu'il était possible d'effectuer des mesures directement sur les poudres de lait. En effet, deux grammes de poudre de lait présentent une activité significativement supérieure au mouvement propre du compteur.

3° Il existe dans nos conditions d'expériences un rapport direct entre la teneur en potassium et la radioactivité naturelle du lait. Ce rapport s'exprime bien par une droite dont l'équation est de la forme : $y = a x + b$; b n'étant pas significativement différent de zéro.

4° Nous avons enfin réalisé la contamination artificielle d'une poudre de lait par adjonction d'acétate d'uranyle à raison de 0,068 mg/1 g de poudre.

Cette contamination est décelable par la méthode étudiée.

L'équation de la droite exprimant le rapport : radio-

activité mesurée/teneur potassium, est alors de la forme : $y = a x + b$, avec une valeur de b significativement différente de zéro.

Le principe de la méthode est donc établi.

5° Un travail ultérieur précisant la sensibilité de cette méthode vis-à-vis du Strontium 90, de l'Iode 131 et du Césium 137 permettrait l'application pratique de celle-ci.

Vu : LE DIRECTEUR
DE L'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE,
R. FLORIO

Vu : LE PROFESSEUR RESPONSABLE
DE L'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE,
A. TAPERNOUX

Vu :
LE DOYEN
A.-H. HERMANN

Vu :
LE PRÉSIDENT DE THÈSE,
Pr. CHAMBON

Vu et permis d'imprimer : Lyon, le 16 Novembre 1961.
LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
P. LOUIS

BIBLIOGRAPHIE

1. ALSTED, KJEBERG, OLSEN, PAPPAS. — Retombées radioactives. Mesure de la radioactivité des aliments. *Svensk Kem*, 1959, 12, 717-20.
2. AMARAL, MENDES. — Les Services vétérinaires et l'Energie nucléaire. *Rapport 37^e Session de l'O.I.E.*, 1959, 521, 64, 71.
3. ANDERSON, BURTON, CROK WALL. — Evolution actuelle des teneurs du lait en 90 Sr, 89 Sr, 137 Cs et 40 K dans le lait produit en Norvège. *Nature G.B.*, 1960, 4724, 527-29.
4. BARBIER, HUGUET, MICHON, TYSZKIEWICS. — Sur la prévision de la limite d'accumulation dans le sol et dans les récoltes d'éléments radioactifs de longue période apportés à régime constant. *C. R. Acad. Sci. Fr.*, 1958, 247, 22, 2434, 6. — *C. R. Acad. Sci. Fr.*, 1958, 44, 18, 874, 8.
5. BERCH. — Méthode pour déterminer une très petite quantité d'Iode 131 dans des produits biologiques, en particulier dans le lait. *Porc. and UN, conf. peaceful uses of atomic energy, Geneva*, 1958, 508, 11.
6. BERGH, FERSTED, LUND OTTEN WICK. — Analyse des retombées radioactives dans les précipitations, les sols tourbeux, plantes, eaux potables, lait. *Svensk Kem* 1959, 12, 675-716.

7. BOCQUET. — Les pyramides écologiques dans l'étude systématique des processus de radiocontamination. *Bull. Acad. Vétér. Fr.*, 1959, 32, 10, 707, 20.
8. BOCQUET. — L'Energie nucléaire et l'Hygiène publique vétérinaire. *Cahier de Médecine Vétérinaire*, 1959, XXVIII, 12, 33-78.
9. BOCQUET. — La protection civile et les problèmes d'accumulation de la radioactivité dans la Flore et la Faune. *France Sélection*, édit. 1957.
10. BOURRIER, BOUARD, GRAUSBY. — Mesure de la contamination des sols en place par les radioéléments. *Bulletin du Centre de recherche et d'expérimentation du Génie rural*.
11. CHAMBERLAIN, LOUTIT, SCOTT RUSSEL. — *Harwell, Oxford in Bocquet* (8), p. 67.
12. COMAR. — La Radioactivité dans les aliments. *J. Amer. Med. Ass.*, 1959, 171, 9, 1221-23.
13. COMAR. — Radioisotopes en Biologie et Agriculture. *Mc Graw Hill Book Company* 1955.
14. COX, MORGAN, TAYLER. — Le Strontium 90 provenant des retombées radioactives dans le lait et la nourriture d'un troupeau laitier. *Dairy Research G. B.*, 1959, 12, 695-716.
15. FARJAUD. — Détermination du Sodium et du Potassium dans le lait par spectrophotomètre de flamme. *Thèse Doctorat vétérinaire*, Lyon 1961.
16. FORGUES. — Contribution à l'étude de la contamination par l'Iode radioactif. *Thèse Doctorat vétérinaire*, Alfort, 1961.
17. FOWLER, CHRISTENSEN. — Effet des éléments nutritifs du sol sur l'absorption par les végétaux des retombées. *Science U.S.A.*, 1959, 3390, 1689-93.
18. GARDEL. — La Radioactivité. Le point de vue de la protection et des Services Sanitaires. *France Sélection*, édit., 1960.
19. GAUTIER. — L'alimentation et les régimes de l'homme sain et malade. *In Richet* (52).

20. GENESTE. — Essai sur la détermination de la contamination radioactive des laits. *Thèse Doctorat Vétérinaire*, Lyon 1961.
21. GUIRLET, LAVIE (in REINE). — Radioactivité. Réalisation française et Protection civile (51). *C.N.E.P.C.* (Nainville-les-Roches, 1960).
22. GRAHAM. — Fixation des déchets de Strontium 90 et Césium 137 par le sol et les végétaux. *Soil. Sci. U.S.A.* 1958, 86, 2, 91, 7.
23. GUILLOUX, MICHON. — Etude de la cinétique de l'élimination du Sr chez le rat. *Rapport C.E.A. Fr.*, 1958, 767, 1, 6.
24. GUILLOUX, MICHON. — Etude qualitative de l'absorption digestive du Strontium chez le rat. *C.R. Soc. Biol. Fr.*, 1959, 153, 1, 69-72.
25. GULJAKIN, JUDINCEA. — Accumulation des produits de fission dans la récolte des diverses plantes en fonction des propriétés du sol. *Izvest Timirjaz. Selskokh. Akad. S.S.S.R.*, 1959, 6, 19-38.
26. HAISSINSKY. — La Chimie nucléaire et ses applications. Masson Edit., 1957.
27. HANDLEY. — Taux de Radium dans les aliments de base. *In Eddy O.I.E.*, tome 44, 355-64.
28. HANSON, KORNBERG. — In Bocquet (8), 65.
29. HERRIGTON. — Milk and Milk processing, *Mc Graw, Hill Book Company*, 1958, 110, 1.
30. JEANMAIRE, FOURNIGUET, MICHON. — Dosage du Césium dans le lait en poudre. *Le Lait*, 1959, 39, 389-90, 594-99.
31. JEANMAIRE, MICHON. — Recherche et dosage des isotopes radioactifs 89 et 90 dans le lait en poudre. *Le Lait*, 1959, 39, 369-81.
32. JENSEN. — Mise en évidence et dosage du Radium dans le lait. *Nature G.B.*, 1960, 4724, 562-63.
33. KEIRS, SPECK. — Détermination des éléments minéraux du lait par spectrophotométrie de flamme. *J. Dairy Sci.*, 1950, 33, 413.

34. KETO, SUDO. — Concentrations du Strontium 90 dans l'alimentation humaine. *Sc. Rep. Tohoku Uni. Ser. I. Jap.*, 1960, 42, 3144-8.
35. KOGI, SAITO. — Recherche sur la contamination radioactive des A x au Japon. *Rapport O.I.E.*, 1955, 44, 376-80.
36. KOMBERG. — Rapport Radio-Strontium/Calcium dans les plantes et les A x. *Proc. and U.N. internat conf peaceful uses of Atomic energy, Geneva*, 1958, 18.
37. KULP, ECKELMAN. — *In Nature Fr.*, 1957, 3271, 38-9.
38. LARSON, EBNER. — La signification du Strontium 90 dans le lait. Une revue. *J. Dairy Sci. U.S.A.*, 1958, 41, 12, 1647-62.
39. LEGEAY. — Analyse des effets produits sur les denrées alimentaires d'origine animale soumises aux effets des explosions nucléaires. *Revue des O.R. du Corps Vétér. de l'Armée*, 1960, 1, 7, 14.
- 39 a. LEULIER, VELLUZ, GOIFFON. — *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1928, 10, 123-8.
- 39 b. LEULIER, BERNARD. — *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1937, 19, 664-70.
- 39 c. LEULIER. — *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1933, 15, 159.
40. Mc. NEIL TROJAN. — Césium 137 dans le lait de Toronto en 1959. *Nature G.B.*, 1960, 4722, 339-400.
41. MADSHUS, BAARLI. — 137 cs et 40 k dans le lait produit en Norvège. *Nature G.B.*, 1960, 4724, 527-529.
42. MERTEN, KNOPP. — Teneur du lait en Strontium 90 au cours des années 55-57. *Kieler Mickwirtschaftliche. Forschlungsbenitche*, 1958, 10, 1-7.
43. MIGIKOUSKY. — Extraction du Strontium et du Césium du lait. *Canad. J. Bioch. Physio.*, 1959, 37, 11, 1287-92.
44. MISEREZ. — La surveillance de la radioactivité des produits lactés. *Trav. chim. aliment. Suisse*, 1959, 50, 6, 508.
45. MORRE. — Méthode originale de mesure de la radioactivité des aliments d'origine animale. *Bull. Acad. Vétér. Fr.*, 1959, 6, 357-64.
46. MURTHY, COAKLEY, CAMPBELL. — Une méthode pour éliminer la calcination au cours du dosage du Sr 90 dans le lait. *J. Dairy Sci. U.S.A.*, 1960, 151, 59.

47. MYERS. — Séparation du Strontium 90 et du Calcium dans le lait. *Nature G.B.*, 1959, 183, 4678, 1807.
48. NATURE. — Strontium dans corps humain, 1957, 3721, 38.
49. PENNA FRANCA, PINTO COELHO. — Dosage du Strontium 90 dans les os de nouveau-nés. *Am. Acad. Bre. Ci.*, 1959, 31, 1, 49-52.
50. PORCHER. — Le lait au point de vue colloïdal, p. 43. *Le Lait*, édit.
51. REINE. — Radioactivité. Réalisation française et Protection civile. *C.N.E.P.C.*, Février 1960.
52. RICHET. — Alimentation. Aliment et régime. *Masson*, 1952.
- 52 a. ROCHAIX (A.) et TAPERNOUX (A.). — Le lait et ses dérivés. *Vigot, édit.*, 1948.
53. RUSSEL, GARNER. — Absorption du Strontium par les plantes fourragères et signification possible en rapport avec les retombées en 90 Sr. *Nature G.B.*, 1959, 183, 4678, 1806.
54. SASAKI, TSUGO, KOYAMA, SATO OMONO. — Contamination radioactive du lait et des produits laitiers au Japon. *Bull. Agricol. Chem. Soc. Jap.*, 1960, 24, 1, 105, 11.
55. SCHUBERT, HODGES, LENTHOFF, KULP. — Répartition du Sr 90 dans squelette humain. *Health. Phys. G.B.*, 1959, 2, 1, 62, 8.
56. SCIENCE. — Taux moyen de Strontium 90 dans les aliments en U.S.A. *Science U.S.A.*, 1958, 120, 85-86.
57. THIEULIN, VUILLAUME. — Eléments pratiques d'analyse et inspection du lait. *Le Lait*, 1942, 1, 12.
58. VAN DILLA. — Zinc 65 et Zirconium 95 dans alimentation. *Sci. U.S.A.*, 1960, 3401, 659-60.
59. VAN MIDDLESWORTH. — Retombées d'Iode 131 chez le fœtus des Bovidés. *Sci. U.S.A.*, 1958, 3324, 597-8.
60. VOSE KOONTZ. — Absorption du Sr par les plantes fourragères et son importance possible du point de vue des retombées de Sr 90. *Nature G.B.*, 1959, 183, 4673, 1477-8.
61. VUILLAUME, ZUNDEL. — Le rôle des Services Vétérinaires dans la radioactivité. *Rapport 37° Session O.I.E.*, 1959, 521.
62. WASSERMANN, COMAR. — Métabolisme du Strontium 90 chez le rat. *Proc. Soc. Exper. Biol. Med., U.S.A.*, 1960, 1, 124.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	
CHAPITRE I. — Importance des problèmes relatifs à la contamination radioactive du lait	
CHAPITRE II. — Radioactivité du lait	
1) Radioactivité naturelle	
2) Radioactivité artificielle	
3) Contrôle de la radioactivité du lait	
CHAPITRE III. — Travail personnel	
Objet de la Thèse	
Appareillage	
Principes des mesures	
Pratiques des mesures	
Première série de mesures	
Deuxième série de mesures	
Troisième série de mesures	
COMMENTAIRES	
CONCLUSIONS	

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	9
CHAPITRE I. — Importance des problèmes relatifs à la contamination radioactive du lait	13
CHAPITRE II. — Radioactivité du lait	17
1) Radioactivité naturelle	21
2) Radioactivité artificielle	25
3) Contrôle de la radioactivité du lait	35
CHAPITRE III. — Travail personnel	39
Objet de la Thèse	
Appareillage	41
Principes des mesures	43
Pratiques des mesures	46
Première série de mesures	53
Deuxième série de mesures	59
Troisième série de mesures	65
COMMENTAIRES	69
CONCLUSIONS	71

